

**Marcela ČERNÍKOVÁ<sup>1</sup>, Jiří LABUDEK<sup>2</sup>, Lubomír MARTINÍK<sup>3</sup>, Lenka MICHNOVÁ<sup>4</sup>**

**MIKROKLIMA POŽÁRNÍHO SCHODIŠTĚ V ZÁVISLOSTI NA SOLÁRNÍM ZÁŘENÍ  
MICROCLIMATE ON EMERGENCY STAIRCASE DEPENDING  
ON THE SOLAR RADIATION**

**Abstrakt**

V rámci projektu „SP2011/182-Gradient teploty a změna proudění vzduchu u transparentního pláště způsobené solárním zářením“ bylo prováděno dlouhodobé měření prostoru protipožárního schodiště kde obvodová konstrukce je tvořena fasádním transparentním pláštěm. Byl sledován vliv globálního slunečního záření na mikroklima a teplotní stabilitu vnitřního prostředí. Příspěvek se opírá o hodnoty získané z probíhajícího měření v období květen – srpen 2011.

**Klíčová slova**

Teplota, transparentní plášť, měření, vnitřní prostředí

**Abstract**

In the project "SP2011/182-Gradient temperature and airflow changes in the transparent shell caused by solar radiation" a long-time measurements were taken in space of emergency staircase, where perimeter wall is transparent facade shell. The effect of global solar radiation on the microclimate and the thermal stability of the internal environment was monitored. The paper is based on values obtained from the current measurements in the period May – August 2011.

**Keywords**

Temperature, transparent shell, measurement, indoor environment.

## **1 ÚVOD**

Je neoddiskutovatelné, že spotřeba energií se stává jedním ze závažných soudobých problémů moderní doby. Ke spotřebě energie dochází samozřejmě i v letním období, kdy je nutné redukovat výrazné solární zisky přes transparentní pláště. Předmětem příspěvku je specifická oblast energetiky budov v souvislosti s energetickými procesy transparentních plášťů. Příspěvek je zaměřen na pozorování změny vnitřního prostředí z interiérové strany průběžného transparentního pláště, způsobené globálním solárním zářením. Měření by mělo stanovit změnu interiérové teploty a případné změny proudění vzduchu z interiérové strany průběžného proskleného pláště.

---

<sup>1</sup> Ing. Marcela Černíková, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: marcela.cernikova@vsb.cz.

<sup>2</sup> Ing. Jiří Labudek, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: jiri.labudek@vsb.cz.

<sup>3</sup> Ing. Lubomír Martiník, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: lubomir.martinik@vsb.cz.

<sup>4</sup> Ing. Lenka Michnová, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: lenka.michnova@vsb.cz.

Po pochopení těchto režimů, jsme schopni obecně stanovit technické úpravy a změny ve skladbách těchto typů konstrukcí.

Dále také efektivněji řídit parametry vnitřního prostředí a tím zajistit daleko lepší vnitřní tepelnou pohodu. Pro dosažení výsledků je prováděno dlouhodobé měření teploty po celé výšce transparentního pláště, zakomponovaného do budovy Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava.

## 2 PŘEDPOKLADY MĚŘENÍ

Průměrný počet hodin solárního svitu (bez oblačnosti) se v ČR pohybuje od 1400 do 1700 h/rok. Doba trvání slunečního záření se v rámci České Republiky může v průměrných hodnotách lišit až o 500 hodin za rok. Nejmenší počet hodin má severozápad území. Lokality se od sebe běžně liší v průměru o  $\pm 10\%$ . Směrem na jihovýchod počet hodin narůstá, čím gradují problémy s přehříváním interiérů budov.

Měření probíhá v prostorách požárního schodiště budovy stavební fakulty VŠB-TU Ostrava. Snímače slunečního globálního záření byly umístěny v 1NP a pak následně v 6NP požárního schodiště. Proti oslání byly chráněny vytvořenými papírovými stínidly ve tvaru kornoutu. V rámci měření byly zaznamenány hodnoty jako např. teplota vzduchu v interiéru  $\theta_{ai}$ . Hodnota ukládání a průměrování dat na měřicí ústředně ALMEMO 5690-2 byla stanovena po 15-ti minutách. V průběhu srpna byl z důvodů velké teplotní stability vnitřního prostředí upraven interval zápisu naměřených dat po 60 minutách. Všechny naměřené hodnoty byly zpracované v programu Microsoft Excel [14] a výsledky byly katalogizovány pomocí kontingenčních tabulek. Pokud na venkovní transparentní fasádu působí globální solární záření, potom v závislosti na koeficientu celkové propustnosti skleněného systému této transparentní stěny proniká do prostoru energie krátkovlnného slunečního záření [6], které naráží na absorpční plochy. Až následně odevzdávají absorpční plochy teplo sáláním a konvekcí do vzduchu meziprostoru. Takovéto změny je velmi složité modelovat, proto je nutné získávat zkušenosti s touto změnou vnitřního prostředí pomocí dlouhodobého měření.

S určitou přibližností lze říci, že konečný výsledek je stejný, jako když předpokládáme, že sluneční záření přímo ohřívá vzduch proudící meziprostorem solární stěny, a proto lze při určitém zjednodušení na solární stěnu nahlížet jako na „obří vzduchotechnický solární ohříváč“.

Zjednodušeně lze říci, že s větší teplotou roste objem vzduchu a klesá jeho hustota. Neboli stává se lehčím oproti méně teplému vzduchu (porovnáváno na objem). Lehký zahřátý vzduch pak stoupá vzhůru. Díky pohybu teplého vzduchu vzniká vzdušný proud. Jde o teorii tzv. solárního komínu dle [5]

### 2.1 Použité měřicí zařízení

K měření byla použita měřicí sestava:

- Měřicí ústředna ALMEMO 5690-2 s velkoplošným displejem, velkou četností zápisu dat a malými rozměry.
- Snímač slunečního globálního záření.[8] Jedná se o snímač vhodný pro venkovní měření v oblasti meteorologie, medicíny a biologie. Snímač má eloxované hliníkové pouzdro, poklop z umělé hmoty propouštějící UV-záření, který zajišťuje odolnost proti dešti a stříkající vodě a nedochází ani k orosení vnitřní strany poklopu. Snímač je napájen z ALMEMO-přístroje.
- Teplotní čidla AHLBORN[9]. Tato teplotní čidla byla instalována v každém podlaží měřeného požárního schodiště. Během měření došlo k chybám, jejichž důsledkem byla čidla přesunuta do referenčního podlaží pro kontrolu odchylek. Po tomto měření byla všechna čidla umístěna zpět. Při vyhodnocování dat bylo zjištěno, že 4 čidla nepracovala správně a jejich data byla z měření vyloučena.

Tab. 1: Použité zařízení pro měření záření

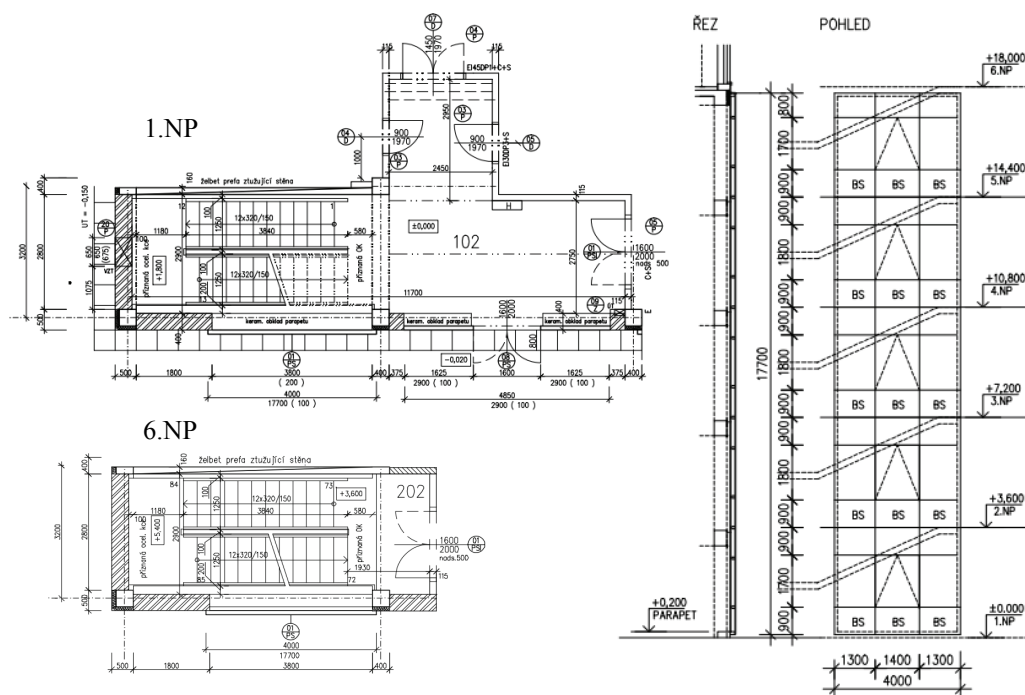
<p>Snímač slunečního globálního záření</p>	<p>Umístění snímače na transparentní fasádě</p>
 <p>The image shows a close-up of a solar global radiation sensor. It features a clear hemispherical dome on top of a dark, circular mounting plate. The sensor is attached to a light-colored cylindrical base. A label on the base contains a spectral response graph, the brand name 'MMA', and technical specifications: 'Global - Strahlung', '0 - 1200 W/m²', '402 nm - 1150 nm', 'Resistor No. FLA013-05', and a CE mark.</p>	 <p>The image shows an aerial view of a modern, multi-story building with a white facade and large windows. A flat roof section is visible, where the radiation sensor is installed. The building is surrounded by greenery and a paved area with some outdoor furniture. A blue cylindrical structure is visible in the foreground.</p>

### 3 TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTORU VERSUS SOLÁRNÍ ZISKY

### 3.1 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty požárního schodiště byly vypracovány v programu Ztráty 2009 [11]. Dotčené skladby konstrukcí, které jsou potřebné pro výpočet, byly hodnoceny v programu Teplo 2009 [10] na požadované hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ].

Požární schodiště je orientováno na jihozápad. V hodnoceném prostoru je po výšce budovy celoplošně prosklená stěna. Tepelně-technické parametry této stěny byly vypočteny dle [1].



Obr. 2: Půdorysy 1. NP, 6. NP, řez schodištěm a pohled na prosklenou fasádu požárního schodiště [4]

Tab. 2: Vstupní parametry prostoru požárního schodiště

VSTUPNÍ ÚDAJE:		
Objem vytápěných zón budovy	$V$	672,0 m <sup>3</sup>
Plocha ohraničujících konstrukcí	$A$	346,2 m <sup>2</sup>
Převažující návrhová vnitřní teplota	$\theta_{ai}$	20,0 °C
Návrhová venkovní teplota	$\theta_e$	-15,0 °C

Výsledná hodnota tepelné ztráty prostoru schodiště je 10,188kW. Posuzovaný prostor nevyhoví na maximální průměrný součinitel prostupu tepla. To je ovlivněno také tím, že požární schodiště je pouze část z celého komplexu budov. Hodnota tepelných ztrát požárního schodiště je k velikosti prostoru a ploše prosklených stěn vyhovující.

Tab. 3: Výsledné hodnoty vypočtené pomocí programu Ztráty 2009 [11].

Hodnocené veličiny	Vnitřní výpočtová teplota	Vypočítané hodnoty	Normové požadavky	
-	°C	-	Norm. hodnota	Poznámka
Celkové tepelné ztráty	20°	10,188kW	-	Neposuzují se na normovou hodnotou
Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$		0,60 W/(m <sup>2</sup> .K)	< 0,59 W/(m <sup>2</sup> .K)	Max průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em,N}$

### 3.2 Solární zisk

Matematický model neuvažuje s akumulací tepla a některými proměnnými hodnotami dle [3].

Solární zisk se obecně vypočítá dle vztahu:

$$Q_S = \sum_j I_{sj} \cdot \sum_n A_{snj} \quad [\text{J}]$$

$I_{sj}$  ... celkové sluneční záření [J/m<sup>2</sup>] dopadající na jednotku povrchu  $n$  s orientací  $j$  během výpočtového období

$A_{snj}$  ... solárně účinná sběrná plocha [m<sup>2</sup>] povrchu  $n$  s orientací  $j$

Účinná sběrná plocha větrané solární stěny  $A_s$  [m<sup>2</sup>] se stanoví dle vztahu:

$$A_s = A \cdot F_S \cdot F_C \cdot F_F \cdot g \quad [\text{m}^2]$$

kde:

$F_S$  ... korekční činitel stínění, který se uvažuje pouze při trvalém stínění [-]

$F_C$  ... korekční činitel clonění [-]

$F_F$  ... korekční činitel rámu, stanovený jako podíl průsvitné plochy a celkové plochy prvku

$g$  ... celková propustnost slunečního záření [-], vyjadřující podíl množství energie dopadajícího na nezastíněné zasklení a množství energie, které zasklením prochází, celková propustnost slunečního záření kolmého k ploše zasklení  $g_{\perp}$  [-], která je o něco větší než hodnota  $g$  a musí být korigována dle vztahu:

$$g_w = F_w \cdot g_{\perp} \quad [-]$$

$F_w$  ... korekční čísel [-], který závisí na druhu skla, zeměpisné šířce, klimatu a orientaci, je přibližně roven:

$$F_w = \frac{g}{g_w} = 0,9$$

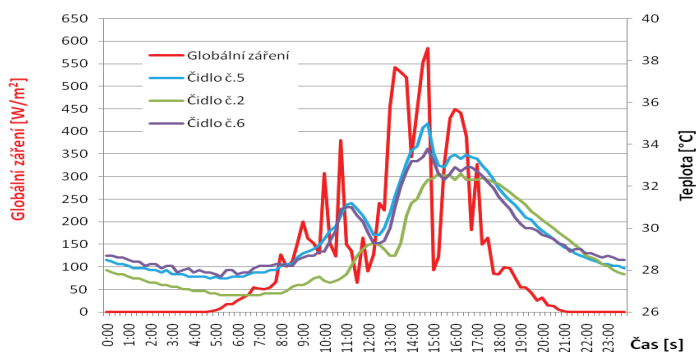
Tab. 4: Porovnání ztrát a solárních zisků při různých vnějších výpočtových teplotách

Vnitřní výpočtová teplota	Vnější navržená výpočtová teplota	Vypočítané ztráty	Teoretická solární intenzita	Vypočítané solární zisky	Přebytečné solární zisky
°C	°C	kW	W/m <sup>2</sup>	kW	kW
20°	-15	10,19	230	13,34	3,15
	-5	7,34	300	17,40	10,06
	0	5,91	170	9,86	3,95
	+5	4,49	230	13,34	8,86
	+10	3,06	330	19,14	16,08
	+30	-2,65	370	21,46	24,11

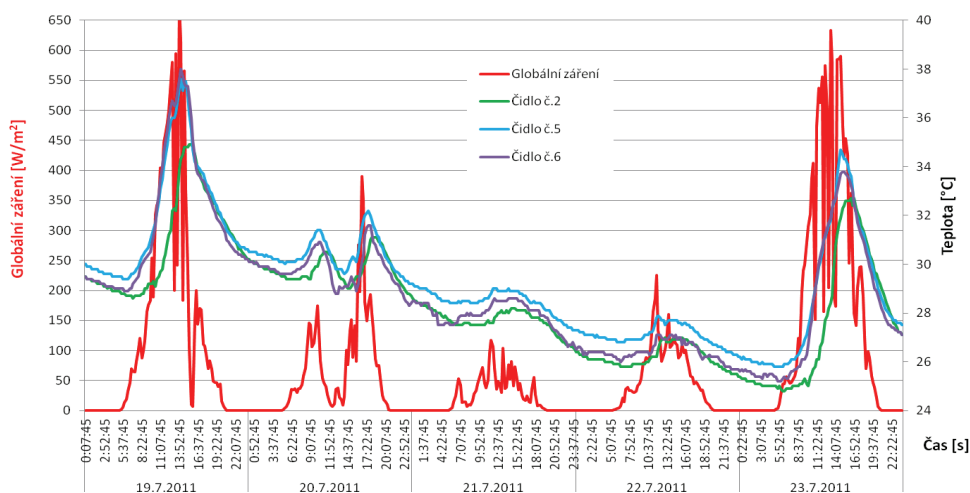
Uvedená tabulka představuje tepelné ztráty v rozdílných teplotách vnějšího vzduchu. Hodnota -15°C je minimální vnější výpočtová teplota, která představuje oblast Ostravy, kde se hodnocený prostor nachází podle normové tabulky z normy ČSN 730540 [2]. Při navržených teplotách vnějšího vzduchu v letním období výsledek vychází záporně, což znamená, že v prostoru dochází k přehřívání.

#### 4 TEPLOTNÍ STABILITA INTERIÉRU

Budovy s nízkou tepelnou setrvačností se rychle zahřejí slunečním zářením, ale v noci také rychle vychladnou. Vysoká tepelná setrvačnost budov naopak zajišťuje stálější teploty, protože budova plní funkci tzv. úložiště tepelné energie ve svých stěnách během dne a toto teplo vydává v průběhu noci, jakmile slunce zajde a vzduch se ochladí. V měřeném prostoru téměř nedochází k poklesu teplot vnitřního prostředí, což ukazuje na enormní solární zisky, minimální tepelné ztráty a vysokou hodnotu akumulované tepelné energie.



Graf. 1: Graf závislosti teploty vnitřního vzduchu na globálním slunečním záření ze dne 25. 06. 2011



Graf. 2: Graf závislosti teplot měřené jednotlivými snímači na globálním slunečním záření po dobu 5 dní

Hodnocený prostor požárního schodiště byl posuzován na tepelnou stabilitu v letním období pomocí programu Stabilita 2009 [12] a Simulace 2009 [13]. Tepelná stabilita je zde počítána dvěma výpočetními programy z důvodu přesnějšího zjištění výpočtového výsledku. Samotný program Stabilita 2009 [12] je pro určení tepelné stability výhodnější. Pomocí programu Simulace 2009 [13] je možné případně navrhnout opatření, která by byla potřeba provést v případě přehřívání v letním období.

Transparentní plášť v požárním schodišti je vytvořen pomocí nosných hliníkových profilů (sloupky a paždíky), které tvoří fasádní systém. Ukotvení tohoto nosného rámu je provedeno do ŽB průvlaků, sloupů a zdiva. Je zde použito zasklení se šedým zbarvením, což snižuje propustnost světla. Součinitel prostupu tepla zasklení  $U_g=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Tab. 5: Výsledné hodnoty vypočtené v programu Stabilita 2009 [12] a Simulace 2009 [13].

Hodnocené veličiny	Vnitřní výpočtová teplota	Vypočítané hodnoty tepelné stability	Normové požadavky	
-	°C	nevyhoví	Normová hodnota	Poznámka
Tepelná stabilita v letním období (Stabilita 2009)	20°	23,93 °C	<5 °C	Maximální teplotní stabilita, $\Delta \theta_{a,max,N}=5,00^\circ\text{C}$
Tepelná stabilita v letním období (Simulace 2009)		70,43 °C	<27°C	Maximální teplotní stabilita, $\theta_{ai,max,N}=27,00^\circ\text{C}$

Z tabulky je patrné, že v obou případech výpočtu výsledek tepelné stability v letním období nevyhoví. Stavební řešení ohraničujících konstrukcí je řešeno tak, že tepelné ztráty prostoru jsou díky tomu relativně nízké. Tato skutečnost je samozřejmě příznivá, jelikož částečně přispívá k nižší energetické náročnosti celého objektu. Na druhou stranu přispívá k přehřívání objektu v letním období.

Důležitý faktor, který ovlivňuje gradient teploty je větrání. Z našeho měření víme, že k výměně vzduchu nedochází pravidelně a tímto se ohřátý vzduch v prostoru akumuluje a relativně kvalitní stavební řešení nedovoluje unik tepelné energie z prostoru.

Po porovnání výsledků tepelné stability požárního schodiště a velkých solárních zisků jsme dospěli k závěru, že teplotní gradient v této měřené části objektu funguje dle původních předpokladů, ale díky absenci větrání a vysoké teplotní stabilitě dochází k vyrovnávání teplot v jednotlivých podlažích. Tím je teplotní gradient méně patrný.

#### 4 NÁVRH OPATŘENÍ PROTI PŘEHŘÍVÁNÍ INTERIÉRU

Snížení tepelné zátěže budovy od působícího slunečního záření v letním období můžeme zabezpečit pouze sledováním energetických toků – omezení získávání přebytečného tepla budovou. Toto lze řešit několika variantami:

- Účinné odvětrání přebytečného tepla
- Regulace systémem žaluzií v závislosti na snímači slunečního globálního záření
- Regulace klimatizačním systémem

Jedna z možných variant úsporných opatření proti přehřívání interiéru, je využití principu tzv. solárního komínu. Při vstupu vzduchu v dolní části prostoru o definované hustotě a teplotě za účasti solárního záření, dochází ke snižování objemové hmotnosti vzduchu v interiéru a jeho odcházení proudem v horní části. Ve spodní části solárního komínu dochází k nasávání vzduchu z objektu, což zabezpečuje výměnu vzduchu v interiéru. V tomto konkrétním případě se nabízí vybudovat přívod vzduchu přes zemní výměník, což by mělo kladný vliv, jak na snížení vnitřní teploty v letním období, tak na zvýšení teploty přívodního vzduchu v období zimním. Takto fungující „solární komín“ by navíc zvýraznil stávající gradient teplot u transparentního obvodového pláště. Výhodou solárního komínu je především jeho samoregulační funkce v závislosti na rozdílu exteriérových a interiérových teplot. Čím menší je rozdíl teplot, tím méně je třeba vyměňovat vzduch s tepelnou zátěží a tím menší je také tah solárního komínu dle [5].

Další variantou, která bude mít příznivý vliv na teplotu vnitřního vzduchu v období letních solárních zisků, je použití odrazných folií na okna. Toto řešení je v této době zkoušeno rovněž na otvorových výplních na budově Fakulty stavební a prozatímni výsledky jsou slibné. Na obdobném principu funguje také zastínění venkovními žaluziemi, které je však náchylnější k poruchám, zvláště pak u vertikálně nepřerušovaných transparentních fasád, kde venkovní zastiňovací technika dosahuje značných rozměrů. Nevýhodou venkovních žaluzií je také ovlivnění celkové architektonické koncepce objektu. Použitím jedné z těchto dvou variant by došlo k dodatečnému navýšení investičních nákladů budovy.

Nejvýkonnějším, ale také provozně nejnákladnějším řešením je regulace klimatizačním systémem. Pokud bychom měli mechanicky upravovat parametry vzduchu v prostorách, jako jsou požární unikové schodiště, mělo by to podstatný dopad na energetickou náročnost budov.

Vzhledem k silicímu tlaku na snižování energetické náročnosti budov, se jako jednoznačně nejzajímavější jeví varianta s využitím principu solárního komínu. Toto řešení lze obecně použít na většinu nově budovaných staveb s transparentními pláštěmi a v tomto konkrétním případě na převážnou část prostor nového komplexu budov Fakulty stavební VŠB -TUO. V požárně oddělených prostorách, musí být samozřejmě celý systém přirozeného větrání doplněn požárními klápkami. Výhodou je, že pro horní proudy na odvod přebytečného tepla lze použít požární odvody tepla, které tak mohou plnit jak funkci větrání při letním přehřívání, tak funkci protipožární.



## 5 ZÁVĚR

U staveb navrhovaných tradičně především s ohledem na zimní období, které bývalo v našich klimatických podmínkách vždy rozhodující, zůstává často opomíjena tepelná zátěž slunečním zářením, a tak dochází k velmi paradoxním situacím. Vzduch se ohřívá rychleji než voda a již při nízkém slunečním ozáření – tedy i při zatažené obloze – dosahuje rychle vyšších teplot. Vytápění v moderních budovách s nízkými nároky na teplo je tedy nutné řešit tak, aby kromě nízké potřeby tepla objektu byla i spotřeba primárních energií co nejnížší. Vytápěcí zařízení takových budov musí být schopno pracovat s podstatně menším, nejlépe plynule regulovatelným výkonem a mělo by být schopno v celém rozsahu pružně reagovat na tepelné zisky. Bylo by tedy efektivní uvažovat o řízení vytápění jednotlivých zón v závislosti na globálním solárním záření. Toto by umožňovalo zapojení snímačů solárního záření na různých fasádách do systému měření a regulace jednotlivých zón.

Do poloviny letošního srpna bylo pouze cca 6 dní, kdy byly na většině území naměřeny teploty nad 30°C. Pro srovnání, vloni přinesly letní prázdniny v průměru 12 tropických dnů. Léto 2011 má naopak 12 dnů s netypickými teplotami pod 20°C, těch bylo vloni pouze 9. Nejchladnějším obdobím letošního léta bylo posledních 10 dnů v červenci, kdy se teploty pohybovaly tři stupně pod normálem. Léto 2011 mělo nadstandardní úhrn srážek. V červenci spadlo o 60% více srážek, než obvykle v červenci naprší. A podobně tomu tak bylo i v první polovině srpna[7]. Z těchto hodnot lze uvést závěr, že letošní rok nebyl zrovna typickým pro přehřívání interiéru a přesto k němu při tomto dlouhodobém měření docházelo.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci Studentské grantové soutěže - Specifického vysokoškolského výzkumu „SP2011/182 - Gradient teploty a změna proudění vzduchu u transparentního pláště způsobené solárním zářením“

## LITERATURA

- [1] ČSN EN ISO 13947 - Tepelné chování lehkých obvodových plášťů (2007)
- [2] ČSN 73 0540-2 - Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky (2007)
- [3] VAVERKA, J.; MEIXNER, M.; HIRŠ, J. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. 1. 1. VUT Brno: Vutium, 2006. ISBN: 80-214-2910-0.
- [4] Projektové podklady FAST – výkresy stavební části
- [5] <http://3pol.cz/722-solarni-komin-vyuziti-solarniho-kominu-pro-prirozene-vetrani-budov>
- [6] [http://www.businessinfo.cz/files/2005/061106\\_oborova-prirucka-oze.pdf](http://www.businessinfo.cz/files/2005/061106_oborova-prirucka-oze.pdf)
- [7] <http://www.novinky.cz/domaci/242703-i-kdyz-dorazily-tropy-leto-je-nejchladnejsi-za-poslednich-20-let.html>
- [8] <http://www.ahlborn.cz/cs/produkt/snimac-globalniho-zareni/>
- [9] <http://www.ahlborn.cz/download/File/termodraty.pdf>

## POUŽITÝ SOFTWARE

- [10] Svoboda, Z.: Software Teplo 2009
- [11] Svoboda, Z.: Software Ztráty 2009
- [12] Svoboda, Z.: Software Stabilita 2009
- [13] Svoboda, Z.: Software Simulace 2009
- [14] MICROSOFT EXCEL 2007

### Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Pavol Ďurica, CSc., Katedra pozemného staviteľstva a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Doc. Ing. Jiří Hirš, CSc., Ústav technických zařízení budov, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.